

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Efisien

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) kata efisien dapat diartikan cara yang tepat atau sesuai untuk mengerjakan atau menghasilkan sesuatu dengan tidak membuang-buang biaya.

#### 2.2 Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalan raya yang diperkeras menggunakan lapis konstruksi tertentu yang mempunyai ketebalan, kekuatan, kekakuan dan kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu-lintas di atasnya menuju tanah dasar. Perkerasan jalan terdiri dari campuran agregat dan bahan ikat. Agregat yang dipakai terdiri dari batu pecah, batu belah, batu kali atau bahan lainnya, sedangkan bahan ikat yang dipakai ialah aspal, semen ataupun tanah liat. Menurut Sukirman (1999:4) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

- a. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
- c. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

Perbedaan utama perkerasan kaku dan lentur diberikan pada tabel di bawah ini.

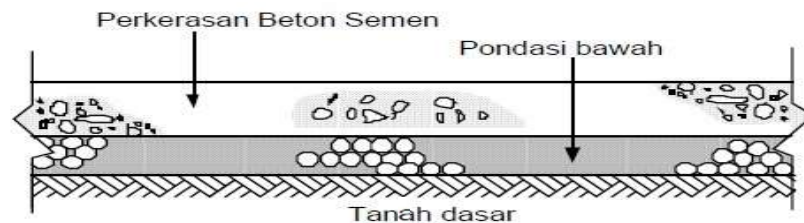
**Tabel 2. 1** Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku

		Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1	Bahan pengikat	Aspal	Semen
2	Repetisi beban	Timbul <i>Rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok di atas perletakan
4	Perubahan temperature	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar

(Sumber : Silvia Sukirman, Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1999)

Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah (2003:3) Perkerasan beton semen atau perkerasan kaku merupakan suatu struktur bangunan yang umumnya terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan atau tanpa tulangan.

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) menggunakan atau tidak menggunakan tulangan, atau menerus menggunakan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada gambar 2.1 berikut ini.



**Gambar 2. 1** Tipikal struktur perkerasan beton semen

(Sumber: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2003)

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:7), perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 4 jenis :

- Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan
- Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan
- Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan
- Perkerasan beton semen pra-tegang

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton semen. Faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan, dan perubahan kadar air selama masa pelayanan.

Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan bagian utama yang memikul beban, tetapi bagian yang berfungsi sebagai berikut:

- Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
- Mencegah intrusi dan memompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
- Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
- Sebagai perkerasan lantai kerja selama perkerasan.

Pelat beton semen memiliki sifat yang cukup kaku serta menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya.

## **2.3 Komponen Konstruksi Perkerasan Kaku**

Komponen Konstruksi Perkerasan Beton Semen (*Rigid Pavement*) adalah sebagai berikut:

### **2.3.1 Tanah Dasar (*Subgrade*)**

Menurut Hendarsin (2000: 212) Daya dukung lapisan tanah dasar merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan tebal lapis perkerasan, tujuan dari evaluasi lapisan tanah dasar ini untuk memperkirakan nilai daya dukung *subgrade* yang akan digunakan dalam perencanaan.

### 2.3.2 Lapis Pondasi (*Subbase*)

Menurut Alamsyah (2001:149), alasan dan keuntungan digunakannya lapisan pondasi bawah (*Subbase*) di bawah perkerasan kaku adalah sebagai berikut:

- a. Menambah daya dukung tanah dasar
- b. Menyediakan lantai kerja yang stabil untuk peralatan konstruksi
- c. Untuk mendapatkan permukaan daya dukung yang seragam
- d. Untuk mengurangi lendutan pada sambungan pada – sambungan sehingga menjamin penyaluran beban melalui sambungan muai dalam jangka waktu lama
- e. Untuk membantu menjaga perubahan volume lapisan tanah dasar yang besar akibat pemuaian atau penyusutan
- f. Untuk mencegah kaluarnya air pada sambungan atau tepi-tepi pelat (*pumping*)

### 2.3.3 Tulangan

Menurut Alamsyah (2001:155), tujuan dasar distribusi penulangan baja bukan untuk mencegah terjadinya retak pada pelat beton, tetapi untuk membatasi lebar retakan yang timbul pada daerah dimana beban terkonsentrasi, agar tidak terjadi pembelahan pelat beton pada daerah retak tersebut, sehingga kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan.

Banyaknya tulangan baja didistribusikan sesuai dengan kebutuhan untuk keperluan ini yang akan ditentukan oleh jarak sambungan susut, dalam hal ini dimungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.

#### 1) Kebutuhan Penulangan pada Perkerasan Bersambung Tanpa Tulangan

Pada perkerasan bersambung tanpa tulangan, penulangan tetap dibutuhkan untuk mengantisipasi atau meminimalkan retak pada tempat-tempat dimana dimungkinkan terjadi konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari.

Tipikal penggunaan penulangan khusus ini antara lain :

- a. Tambahan pelat tipis
- b. Sambungan yang tidak tepat
- c. Pelat kulah atau struktur lain

2) Penulangan pada Perkerasan Bersambung dengan Tulangan Luas tulangan pada perkerasan ini dihitung dari persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{11,76 (F.L.h)}{f_s}$$

Dimana :

$A_s$  = luas tulangan yang diperlukan ( $\text{mm}^2/\text{m}$  lebar)

$F$  = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

$L$  = jarak antara sambungan (m)

$h$  = tebal pelat (mm)

$f_s$  = tegangan tarik baja ijin (Mpa)

3) Penulangan pada Perkerasan Menerus dengan Tulangan

a. Tulangan Memanjang

$$P_s = \frac{100 f_t}{(f_y - n - f_t)} (1,3 - 0,2F)$$

Dimana :

$P_s$  = Persentase tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap penampang beton (%)

$f_t$  = Kuat tarik beton yang digunakan 0,4-0,5  $f$  (Mpa)

$f_y$  = Tegangan leleh rencana baja,  $f_y < 400\text{Mpa}$

$n$  = Angka ekialen antara baja dan beton =  $E_s/E_c$

$F$  = Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

$E_s$  = Modulus elastisitas baja

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

Persentase minimum tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% dari luas penampang beton.

b. Tulangan Melintang

Luas tulangan melintang yang diperlukan pada perkerasan beton menerus, dihitung dengan persamaan yang sama seperti pada perhitungan penulangan perkerasan beton bersambung tanpa tulangan.

4) Sambungan atau *Joint*

Menurut Hendarsin (2000:254) Perencanaan sambungan pada perkerasan kaku, merupakan bagian yang harus dilakukan pada perencanaan, baik jenis perkerasan beton bersambung tanpa atau dengan tulangan, maupun pada jenis perkerasan beton menerus dengan tulangan.

## 2.4 Perencanaan Perkerasan Kaku

Menurut Hendarsin (2000:210), berbagai pertimbangan yang diperlukan dalam perencanaan tebal perkerasan antara lain meliputi:

### 2.4.1 Pertimbangan konstruksi dan pemeliharaan

Menurut Hendarsin (2000:210), Konstruksi dan pemeliharaannya kelak setelah digunakan, harus dijadikan pertimbangan dalam merencanakan tebal perkerasan. Faktor yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

- Perluasan dan jenis drainase
- Penggunaan konstruksi berkotak-kotak
- Ketersediaan peralatan
- Penggunaan Konstruksi Bertahap
- Penggunaan Stabilitas
- Kebutuhan dari segi lingkungan dan keamanan pemakai
- Pertimbangan Sosial dan Strategi pemeliharaan
- Resiko-resiko yang mungkin terjadi.

### 2.4.2 Pertimbangan lingkungan

Faktor yang dominan berpengaruh pada perkerasan adalah:

- a. Kelembaban

Kelembapan secara umum berpengaruh terhadap penampilan perkerasan, sedangkan kekakuan/kekuatan material yang lepas dan tanah dasar, tergantung kadar air materialnya.

b. Suhu Lingkungan

Pada perkerasan dengan beton, temperature yang tinggi juga akan berpengaruh besar, terutama pada saat perkerasan konstruksi.

### 2.4.3 Evaluasi lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Menurut Hendarsin (2000:212) Daya dukung lapisan tanah dasar adalah hal yang sangat penting dalam merencanakan tebal lapisan perkerasan, jadi tujuan evaluasi lapisan tanah dasar ini untuk mengestimasi nilai daya dukung subgrade yang akan digunakan dalam perencanaan

1. Faktor pertimbangan untuk estimasi daya dukung

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam mengestimasi nilai kekuatan dan kekakuan lapisan tanah dasar.

- Urutan pekerjaan tanah
- Penggunaan kadar air ( $w$ ) pada saat pemadatan (kompaksi) dan kepadatan lapangan ( $\gamma_d$ ) yang dicapai
- Perubahan kadar air selama usia pelayanan
- Variabilitas Tanah Dasar
- Ketebalan lapisan perkerasan total yang dapat diterima lapisan lunak yang ada di bawah lapisan tanah dasar.

2. Pengukuran daya dukung subgrade

Pengukuran daya dukung subgrade (lapisan tanah dasar) yang digunakan, dilakukan dengan cara :

- *California Bearing Ratio* (CBR)
- Modulus Reaksi Tanah Dasar ( $k$ )
- Parameter Elastis

- Pengambilan Nilai CBR Perkiraan.

#### **2.4.4 Material perkerasan**

Menurut Hendarsin (2000:216), Material perkerasan dapat dibagi menjadi empat kategori sehubungan dengan sifat dasarnya, akibat beban lalu lintas, yaitu:

- Material berbutir lepas
- Material terikat
- Aspal
- Beton semen

#### **2.4.5 Lalu lintas rencana**

Menurut Hendarsin (2000:222), Kondisi lalu lintas yang akan menentukan pelayanan adalah :

- Jumlah sumbu yang lewat
- Beban sumbu
- Konfigurasi sumbu

Untuk semua jenis perkerasan, penampilan dipengaruhi terutama oleh kendaraan berat.

### **2.5 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku**

#### **2.5.1 Metode Bina Marga 2003**

Parameter perencanaan perkerasan kaku Metode Bina Marga 2003 terdiri dari:

##### **2.5.1.1 Tanah Dasar**

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:7) Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-173101989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 031744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus



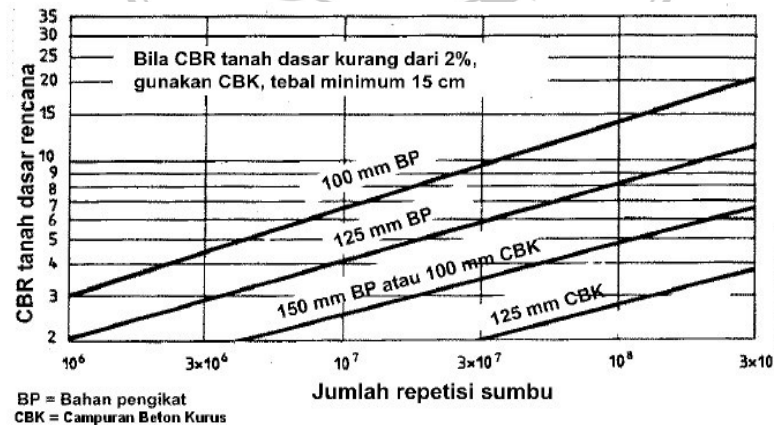
(*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5%.

### 2.5.1.2 Pondasi Bawah

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:8) Bahan pondasi bawah dapat berupa :

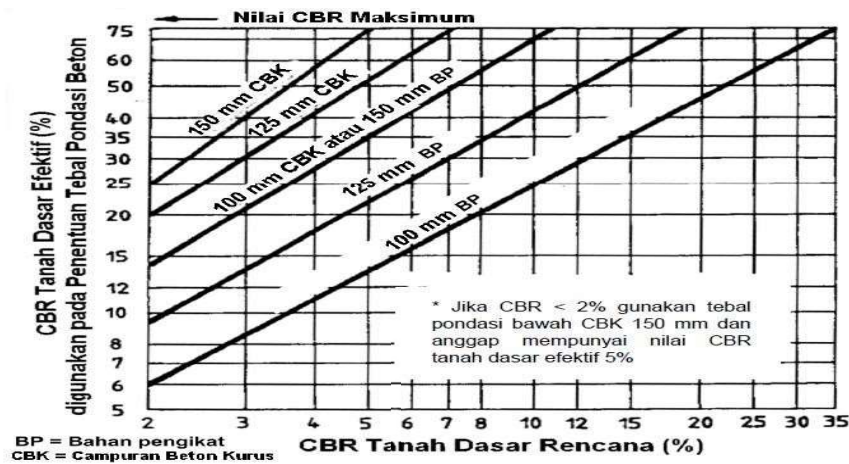
- Bahan berbutir.
- Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*).
- Campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*).

Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif. Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.3 berikut ini:



**Gambar 2. 2** Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)



**Gambar 2. 3** CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

### 2.5.1.3 Beton Semen

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:9) Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strenght*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (3050 kg/cm<sup>2</sup>).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm<sup>2</sup>). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm<sup>2</sup>) terdekat, (Pd T-14-2003).

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:9) Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam Mpa atau} \dots\dots\dots(1)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2) \text{ Dengan pengertian :}$$

$f_c'$  : kuat tekan beton karakteristik 28 hari ( $\text{kg/cm}^2$ )  $f_{cf}$  :

kuat tarik lentur beton 28 hari ( $\text{kg/cm}^2$ )

K : konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 agregat pecah.

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 sebagai berikut :

$f_{cf} = 1,37.f_{cs}$ , dalam Mpa atau.....(3)

$f_{cf} = 13,44.f_{cs}$ , dalam  $\text{kg/cm}^2$ .....(4) Dengan pengertian :

$f_{cs}$  : kuat tarik belah beton 28 hari

#### 2.5.1.4 Lalu-lintas

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:10), dinyatakan dalam sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana.

Lalu lintas harus dianalisa berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu. Jenis kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah kendaraan niaga (*commercial vehicle*) yang mempunyai berat total minimum 5 ton.

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri dari atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

##### 2.5.1.4.1 Lajur rencana dan koefisien distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana

Lebar Perkerasan (Lp)	Jumlah Lajur	Koefisien Distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50 \text{ m}$	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25 \text{ m}$	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25 \text{ m}$	3 lajur	0,50	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L_p < 15,00 \text{ m}$	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75 \text{ m}$	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00 \text{ m}$	6 lajur	-	0,40

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

#### 2.5.1.4.2 Umur rencana

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:11), Umur rencana adalah jangkawaktu dalam tahun sampai perkerasan harus diperbaiki atau ditingkatkan. Perbaikan terdiri dari pelapisan ulang, penambahan, atau peningkatan. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

#### 2.5.1.4.3 Pertumbuhan lalu-lintas

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:11), Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$R = (1 + i)^{UR} - 1/i \dots\dots\dots(5)$$

Dengan pengertian :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.

UR : Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 2.3:

**Tabel 2. 3** Faktor pertumbuhan lalu- lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

#### 2.5.1.4.4 Lalu lintas rencana

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:12), Lalu lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survei beban.

Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JSKN = JSKN \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots(6)$$

Dengan pengertian :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R : Faktor pertumbuhan kumulatif dari Rumus (4) atau Tabel 2 atau Rumus (5), yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.

C : Koefisien distribusi kendaraan

#### 2.5.1.4.5 Faktor keamanan beban

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:12), Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban ( $F_{KB}$ ). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat *reability* perencanaan seperti terlihat pada Tabel 2.4 berikut ini :

**Tabel 2. 4** Faktor keamanan beban ( $F_{KB}$ )

No.	Penggunaan	Nilai $F_{KB}$
1	Jalan bebas hambatan utama ( <i>major freeway</i> ) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu lintas dari hasil survey beban ( <i>weight-in-motion</i> ) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	1,2
2	Jalan bebas hambatan ( <i>freeway</i> ) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah	1,0

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

#### 2.5.1.5 Bahu

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:12) Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi tebal pelat. Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam pedoman ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu lintas dengan lebar minimum 1,50 m atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0.60 m.

#### 2.5.1.6 Sambungan

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:13) sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk :

- Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu-lintas.
- Memudahkan pelaksanaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:13), pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain:

a) Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang 3 – 4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_t = 204 \times b \times h \text{ dan}$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75$$

Dengan pengertian :

$A_t$  = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan ( $\text{mm}^2$ ).

$b$  = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).

$h$  = Tebal pelat (m).

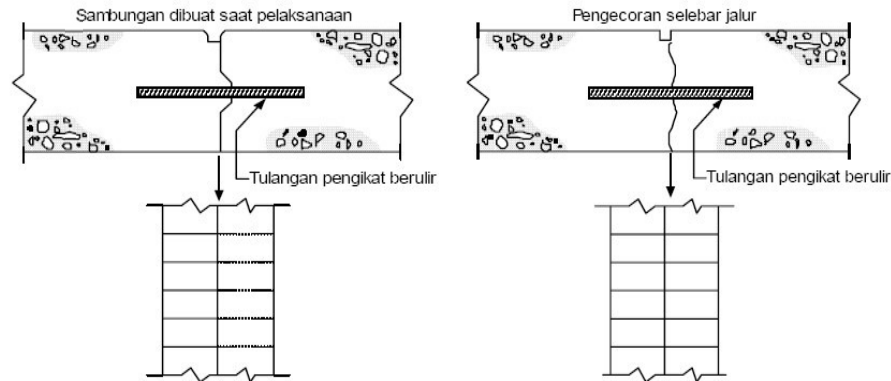
$l$  = Panjang pengikat batang pengikat(mm).

$\phi$  = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

b) Sambungan pelaksanaan memanjang

Sambungan perkerasan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran.



**Gambar 2. 4** Tipikal sambungan memanjang

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

c) Sambungan susut memanjang

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

d) Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang

Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1:10 searah perputaran jarum jam.

e) Sambungan susut melintang

Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut. Setengah



panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton.

Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 2.5

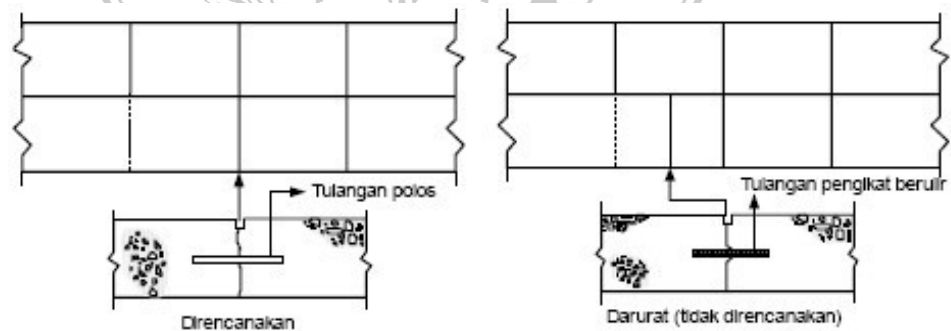
**Tabel 2. 5** Diameter Ruji

No.	Tebal pelat beton, h (mm)	Diamater ruji (mm)
1.	$125 < h \leq 140$	20
2.	$140 < h \leq 160$	24
3.	$160 < h \leq 190$	28
4.	$190 < h \leq 220$	33
5.	$220 < h \leq 250$	36

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

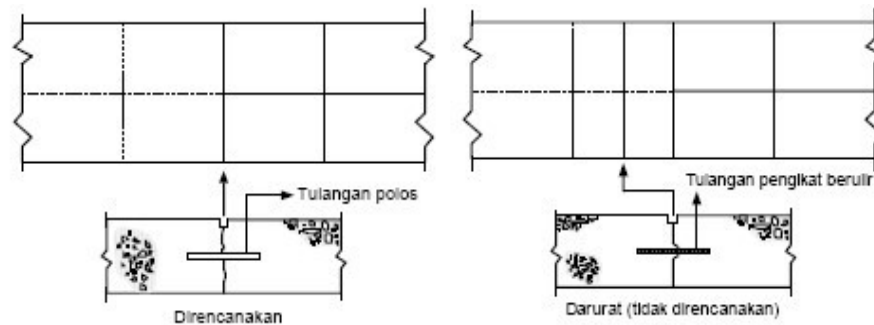
f) Sambungan pelaksanaan melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat.



**Gambar 2. 5** Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)



**Gambar 2. 6** Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

#### 2.5.1.7 Prosedur Perencanaan

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:20), prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu:

- 1) Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
- 2) Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003:20), prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji. Data lalu lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

## 2.5.2 Metode American Association of State High-way Transportation Officials atau AASHTO 1993

Parameter perencanaan perkerasan kaku Metode AASHTO 1993 terdiri dari:

### 2.5.2.1 Lalu lintas

Menurut Suryawan (2009:27) Perhitungan lalu lintas berdasarkan nilai ESAL (*Equivalent Single Axle Load*) selama umur rencana (*traffic design*).

Rumus umum :

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365$$

Dimana:

$W_{18}$  = *Traffic design* pada lajur lalu-lintas, ESAL

$LHR_j$  = Jumlah lalu-lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j.

$VDF_j$  = *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan j.

$D_D$  = Faktor distribusi arah.

$D_L$  = Faktor distribusi lajur.

$N1$  = Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka.

$Nn$  = Lalu lintas pada akhir umur rencana.

Lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada jalur rencana selama setahun ( $W_{18}$ ) dengan besaran kenaikan lalu-lintas (*traffic growth*).

Rumus lalu-lintas kumulatif sebagai berikut :

$$W_t = W_{18} \times \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

Dimana :

$W_t$  = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif.

$W_{18}$  = Beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun.

$n$  = Umur pelayanan, atau umur rencana UR (tahun).

$g$  = Perkembangan lalu-lintas (%).

#### 2.5.2.2 Tanah Dasar

Menurut Suryawan (2009:28), dalam perencanaan perkerasan kaku CBR (*California Bearing Ratio*) digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ).

Menurut Suryawan (2009:28), CBR yang umum digunakan di Indonesia berdasar besaran 6% untuk lapis tanah dasar, mengacu pada spesifikasi (versi Departemen Pekerjaan Umum 2005 dan versi Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta 2004). Akan tetapi tanah dasar dengan nilai CBR 5% dan atau 4% pun dapat digunakan setelah melalui geoteknik, dengan CBR kurang 6% ini jika digunakan sebagai dasar perencanaan tebal perkerasan.

#### 2.5.2.3 Material Konstruksi Perkerasan

Menurut Suryawan (2009:28) Material perkerasan yang digunakan dengan parameter yang terkait dalam perencanaan tebal perkerasan sebagai berikut :

##### 1. Pelat beton

- *Flexural strength* ( $S_c'$ ) = 45 kg/cm<sup>2</sup>
- Kuat tekan (benda uji silinder 15 x 30 cm) :  $F_c'$  = 350 kg/cm<sup>2</sup>  
(disarankan)

##### 2. *Wet lean concrete*

- Kuat tekan (benda uji silinder 15 x 30 cm) :  $F_c'$  = 105 kg/cm<sup>2</sup>

$S_c'$  digunakan untuk penentuan *Flexural strength*,  $F_c$  digunakan untuk penentuan parameter modulus elastisitas beton ( $E_c$ ).

#### 2.5.2.4 Reliability

Menurut Suryawan (2009:28), *reliability* adalah probabilitas bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layannya.

Menurut Suryawan (2009:28) penetapan angka *reliability* dari 50% sampai 99,99% menurut AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Semakin tinggi *reliability* yang dipakai semakin tinggi tingkat mengatasi kemungkinan terjadinya selisih (*deviasi*) desain. Besaran-besaran desain yang terkait dengan ini antara lain :

- Peramalan kinerja perkerasan
- Peramalan lalu lintas.
- Perkiraan tekanan gandar.
- Pelaksanaan konstruksi.

Mengkaji keempat faktor di atas, penetapan besaran dalam desain sebetulnya sudah menekan sekecil mungkin penyimpangan yang akan terjadi. Tetapi tidak ada satu jaminan-pun berapa besar dari keempat faktor tersebut menyimpang. Penetapan *reliability* mengacu pada Tabel 2.6, Standar normal deviasi ( $Z_R$ ) mengacu pada Tabel 2.7, sedangkan standar *deviation rigid pavement* :  $S_o = 0,30 - 0,40$ .

**Tabel 2. 6** *Reliability* (R) disarankan

Klasifikasi Jalan	<i>Reliability</i>	
	Urban	Rural
Jalan tol	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

(Sumber: Suryawan, 2009)

**Tabel 2. 7** Standar *normal deviation* (ZR)

R (%)	ZR	R (%)	ZR
50	-0,000	93	-1,476
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327
91	-1,340	99,9	-3,090
92	-1,405	99,99	-3,750

(Sumber: Suryawan, 2009)

Penetapan konsep *Reliability* dan Standar Deviasi :

Parameter *reliability* dapat ditentukan sebagai berikut :

- Berdasar parameter klasifikasi fungsi jalan
- Berdasar status lokasi jalan urban / rural
- Penetapan tingkat *reliability* (R)
- Penetapan standar *normal deviation* (Z<sub>R</sub>)
- Penetapan standar deviasi (S<sub>o</sub>)
- Keandalan data lalu-lintas dan beban kendaraan.

#### 2.5.2.5 Koefisien Drainase (*Drainage Coefficient*)

Menurut Suryawan (2009:33), ada dua variabel untuk menentukan nilai koefisien drainase.

- Variabel faktor drainase AASHTO memberikan 2 variabel untuk menentukan nilai koefisien drainase :
  - Variabel pertama : mutu drainase, dengan variasi *excellent*, *good*, *fair*, *poor*, *very poor*. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.

- Variabel kedua : persentase struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air (*saturated*), dengan variasi  $< 1 \%$ ,  $1 - 5 \%$ ,  $5 - 25 \%$ ,  $> 25 \%$ .

b. Penetapan variabel mutu drainase

Penetapan variabel pertama mengacu pada Tabel 2.7 dengan pendekatan sebagai berikut :

- Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk kedalam pondasi jalan, relatif kecil berdasar hidrologi yaitu berkisar 70 - 95 % air yang jatuh di atas jalan aspal / beton akan masuk ke sistem drainase.
- Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan relatif kecil terjadi, karena adanya *road side ditch*, *cross drain*, juga muka air tertinggi didesain terletak di bawah *subgrade*.
- Pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari dan jarang sekali hujan terus menerus selama 1 minggu.

**Tabel 2. 8** Quality of drainage

Quality of drainage	Water removed within
Excellent	2 jam
Good	1 hari
Fair	1 minggu
Poor	1 bulan
Very poor	Air tidak terbebaskan

(Sumber: AASHTO 1993)

c. Penetapan variabel persentase perkerasan terkena air

Penetapan variabel kedua yaitu persentasi struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air sampai tingkat *saturated*, relatif sulit, belum ada data rekaman pembandingan dari jalan lain, namun dengan pendekatanpendekatan, pengamatan dan perkiraan berikut ini, nilai faktor variabel kedua tersebut dapat didekati.

Persentase struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut :

$$P_{\text{heff}} = \frac{T_{\text{jam}}}{24} \times \frac{T_{\text{hari}}}{365} \times W_L \times 100$$

Dimana :

$P_{\text{heff}}$  = Persentase hari *effective* hujan dalam setahun yang akan berpengaruh terkenanya perkerasan (dalam %).

$T_{\text{jam}}$  = Rata-rata hujan per hari (jam).

$T_{\text{hari}}$  = Rata-rata jumlah hari hujan per tahun (hari).

$W_L$  = Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%).

Selanjutnya koefisien drainase mengacu pada Tabel 2.9 dibawah ini:

**Tabel 2. 9** Koefisien drainase

Quality of drainage	Percent of time pavement structure			
	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excellent	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Good	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Fair	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Poor	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Very poor	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

(Sumber: AASHTO 1993)

Penetapan parameter koefisien drainase :

- Bedasar kualitas drainase
- Kondisi *time pavement structure* dalam setahun.

#### 2.5.2.6 Load Transfer

Menurut Suryawan (2009:36) *Load transfer coefficient* (J) mengacu pada Tabel 2.10 seperti berikut ini:



**Tabel 2. 10** *Load transfer coefficient*

Shoulder	Asphalt		Tie PCC	
	Yes	No	Yes	No
<b>Pavement type</b>				
1. Plain jointed & jointed reinforced	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
2. CRCP	2.9 – 3.2	N/A	2.3 – 2.9	N/A

(Sumber: AASHTO 1993)

Pendekatan penetapan paramater *load transfer* :

- *Joint dengan dowel* :  $J = 2,5 - 3,1$
- *Untuk Overlay design* :  $J = 2,2 - 2,6$

Dalam perencanaan tebal perkerasan beton, perlu dipilih kombinasi yang paling optimum atau ekonomis dari tebal pelat beton dan lapis pondasi bawah.

Penentuan tebal perkerasan beton dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times$$

$$\log_{10} \frac{S'_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times \left[ D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c : k)^{0,25}} \right]}$$

Dimana :

- $W_{18}$  = Traffic design, Equivalent Single Axle Load (ESAL).  
 $Z_R$  = Standar normal deviasi.  
 $S_o$  = Standar deviasi.  
 $D$  = Tebal pelat beton (inches).

$\Delta PSI$	=	<i>Serviceability loss</i> = $p_o - p_t$
$P_o$	=	<i>Initial serviceability.</i>
$P_t$	=	<i>Terminal serviceability index.</i>
$S_c'$	=	<i>Modulus of rupture</i> sesuai spesifikasi pekerjaan (psi).
$C_d$	=	<i>Drainage coefficient.</i>
$J$	=	<i>Load transfer coefficient.</i>
$E_c$	=	Modulus elastisitas (psi).
$k$	=	Modulus reaksi tanah dasar (pci).

## 2.6 Rencana Anggaran Biaya

### 2.6.1 Pengertian Rencana Anggaran Biaya

Menurut Syawaldi dan Siswanto (2014: 3) :

- Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah :
  - Perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biayabiaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tertentu.
  - Merencanakan sesuatu bangunan dalam bentuk dan faedah dalam penggunaannya, beserta besar biaya yang diperlukan susunan - susunan pelaksanaan dalam bidang administrasi maupun pelaksanaan pekerjaan dalam bidang teknik
- Anggaran biaya adalah : Harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat.

Menurut Syawaldi dan Siswanto (2014:3) Dua cara yang dapat dilakukan dalam penyusunan anggaran biaya antara lain :

- Anggaran Biaya Kasar (taksiran), sebagai pedomannya digunakan harga satuannya tiap meter persegi luas lantai. Namun anggaran biaya kasar dapat juga sebagai pedoman dalam penyusunan RAB yang dihitung secara teliti.

- Anggaran Biaya Teliti, proyek yang dihitung dengan teliti dan cermat sesuai dengan ketentuan dan syarat-syarat penyusunan anggaran biaya.

Menurut Syawaldi dan Siswanto (2014: 3) RAB bertujuan untuk mengetahui harga bagian/item pekerjaan sebagai pedoman untuk mengeluarkan biaya-biaya dalam masa pelaksanaan. Selain itu supaya bangunan yang akan didirikan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. RAB juga berfungsi sebagai pedoman pelaksanaan pekerjaan dan sebagai alat pengontrol pelaksanaan pekerjaan.

## **2.6.2 Analisa Harga Satuan Dasar**

Komponen untuk menyusun Harga Satuan Pekerjaan (HSP) memerlukan analisa Harga Satuan Dasar (HSD) tenaga kerja, Harga Satuan Dasar (HSD) alat, dan Harga Satuan Dasar (HSD) bahan. Berikut ini diberikan langkah-langkah perhitungan Harga Satuan Dasar (HSD) komponen Harga Satuan Pekerjaan (HSP). Kementrian Pekerjaan Umum (2013: 290).

### **2.6.2.1 Langkah perhitungan HSD tenaga kerja**

Dalam Kementrian Pekerjaan Umum (2013: 290) untuk menghitung harga satuan pekerjaan, maka perlu ditetapkan dahulu bahan rujukan harga standar untuk upah sebagai HSD tenaga kerja. Langkah perhitungan HSD tenaga kerja adalah sebagai berikut:

- Tentukan jenis keterampilan tenaga kerja, misal pekerja (P), tukang (Tx), mandor (M), atau kepala tukang (KaT)
- Kumpulkan data upah yang sesuai dengan peraturan daerah (Gubernur, Walikota, Bupati) setempat, data upah hasil survei di lokasi yang berdekatan dan berlaku untuk daerah tempat lokasi pekerjaan akan dilakukan
- Perhitungkan tenaga kerja yang didatangkan dari luar daerah dengan memperhitungkan biaya makan, menginap dan transport
- Tentukan jumlah hari efektif bekerja selama satu bulan (24 – 26 hari), dan jumlah jam efektif dalam satu hari (7 jam).

- e. Hitung biaya upah masing-masing per jam per orang
- f. Rata-ratakan seluruh biaya upah per jam sebagai upah rata-rata per jam.

#### **2.6.2.2 Langkah perhitungan HSD alat**

Menurut Menurut Syawaldi dan Siswanto (2014:23), analisis HSD alat memerlukan data upah operator atau sopir, spesifikasi alat meliputi tenaga mesin, kapasitas kerja alat ( $m^3$ ), umur ekonomis alat (dari pabrik pembuatnya), jam kerja dalam satu tahun, dan harga alat. Faktor lainnya adalah komponen investasi alat meliputi suku bunga bank, asuransi alat, faktor alat yang spesifik seperti faktor *bucket* untuk *excavator*, harga perolehan alat, dan *loader*, dan lain-lain.

#### **2.6.2.3 Langkah perhitungan HSD bahan**

Untuk menghitung harga satuan pekerjaan, maka perlu ditetapkan dahulu rujukan harga standar bahan atau HSD bahan per satuan pengukuran standar.

Analisis HSD bahan memerlukan data harga bahan baku, serta biaya transportasi dan biaya produksi bahan baku menjadi bahan olahan atau bahan jadi. Produksi bahan memerlukan alat yang mungkin lebih dari satu alat. Setiap alat dihitung kapasitas produksinya dalam satuan pengukuran per jam, dengan cara memasukkan data kapasitas alat, faktor efisiensi alat, faktor lain dan waktu siklus masing-masing. HSD bahan terdiri atas harga bahan baku atau HSD bahan baku, HSD bahan olahan, dan HSD bahan jadi. Perhitungan harga satuan dasar (HSD) bahan yang diambil dari *quarry* dapat menjadi dua macam, yaitu berupa bahan baku (batu kali/gunung, pasir sungai/gunung dll), dan berupa bahan olahan (misalnya agregat kasar dan halus hasil produksi mesin pemecah batu dan lain sebagainya). Kementrian Pekerjaan Umum (2013: 290).

Harga bahan di *quarry* berbeda dengan harga bahan yang dikirim ke *base camp* atau ke tempat pekerjaan, karena perlu biaya tambahan berupa biaya pengangkutan material dari *quarry* ke base camp atau tempat pekerjaan dan biaya-biaya lainnya seperti retribusi penambangan Galian C dan biaya operasional alat-alat berat. Kementrian Pekerjaan Umum (2013: 290).